



TITLE:

# 男子における尿道抵抗の測定

AUTHOR(S):

黒田, 清輝

---

CITATION:

黒田, 清輝. 男子における尿道抵抗の測定. 泌尿器科紀要 1969, 15(11): 779-793

ISSUE DATE:

1969-11

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/120066>

RIGHT:

## 男子における尿道抵抗の測定

神戸大学医学部泌尿器科学教室（主任：石神襄次教授）

黒 田 清 輝

MEASUREMENT OF URETHRAL RESISTANCE IN  
HUMAN MALES

Kiyoteru KURODA

*From the Department of Urology, Kobe University Medical School**(Chairman : Prof. J. Ishigami, M. D.)*

By the use of a modified electro-magnetic uroflowmeter of our own make the instantaneous flow rate of urine was measured accurately and recorded.

Simultaneously with this, a direct cystometry (suprapubic) was performed; recording was made of the intravesical pressure during emptying of the bladder and values for  $P_R/F^2$  ( $P_R$ : intravesical pressure at peak flow) calculated, which were considered to represent the urethral resistance.

Discussions were made on the urodynamic significance of the urethral resistance  $P_R/F^2$ , and various questions arising as to its correct determination were also discussed. The exit pressure was neglected which was regarded as atmospheric pressure, and, an adapter was connected to the transducer of the electromagnetic uroflowmeter to neglect the effect of the vena contracta.

Determinations were made of the above mentioned parameters on 33 male controls as well as 29 males with mechanical obstruction of bladder outflow. The following results were obtained.

1) For normal males the average flow rate (AFR) was 3.4~18.8 ml/sec with an average of 9.2 ml/sec. The peak flow rate (PFR) ranged from 21 to 49 ml/sec, averaging 32.7 ml/sec. The peak flow pressure (PFP) was 5~62 mmHg, 30.7 mmHg on the average. The urethral resistance (R) was 0.0028~0.0689, averaging 0.0313 mmHg/(ml/sec)<sup>2</sup>.

2) In the group of patients with difficult urination due to mechanical obstruction values for each of the 4 parameters were found well correlated with the severity of the disorder which was classified clinically into 4 stages according to the average amount of residual urine. The urethral resistance (R), among the said parameters, is considered to serve as an important index for the quantitative evaluation of the degree of bladder outlet obstruction, showing a particularly distinct correlation with the clinical stages of the disorder.

## はじめに

排尿障害の程度を患者の主観に依存せず、客観的に数的に評価することは重要なことであるにかかわらず、この方面の研究は近年までほとんど省みられなかった。1956年 von Garrelts<sup>1)</sup>

が排尿動作中の尿の流量 (flow rate) と膀胱内圧を同時に測定記録した。かれは正常者と下部尿路通過障害患者について、同様の方法で測定記録している<sup>2~5)</sup>。これらのかれの仕事は膀胱の生理または排尿機能に関する研究の近代化を推進させる動機となった。

その後、排尿圧と流量との関係から“尿道抵抗”という概念が提唱され、この抵抗値が排尿障害の程度を数量的に表わすものとして、多くの諸家により報告されるようになった。

この尿道抵抗を算定する方法には大別して二つある。その一つによれば、尿流は一定の管を流れる層流 (laminar flow) であると仮定し、排尿圧  $P$  と流量  $F$  は比例しており、抵抗値  $R$  は  $\frac{P}{F}$  で表わされる。この考えかたは尿道抵抗については初期のもので、Gleason and Lattimer (1962)<sup>6)</sup> や Pierce et al. (1963)<sup>7)</sup> らの報告がある。

他の一つは Smith (1964)<sup>8)</sup>, Claridge and Shuttleworth (1964)<sup>9)</sup> らによって提唱されたもので、尿流は乱流であり、尿道抵抗としては  $R = \Delta P / F^2$  で表わすべきであるという。最近の論文はすべて後者の算定法によっている<sup>10-12)</sup>。しかし、尿道抵抗については、これで全く解決されたわけではなく、その基礎となる尿水力学的解析や、実際の測定方法に至るまで、現在なお多くの問題を残している。

尿流は、たとえ乱流であるとしても定常流でもなく、また管腔も rigid な固定したものでもない。それゆえ、前述の  $R = \Delta P / F^2$  なる乱流の場合の式は時間とともに複雑に変動するものであり、それは各瞬間にしか成立しない。また Gleason and associates (1967)<sup>13)</sup> は exit pressure を大気圧とみなした場合、exit は外尿道口部でなく、縮流部 (Vena contracta) に相当し、 $R = P_B / F^2$  ( $P_B$  は intravesical pressure) は“縮流”の理論からみれば、rigid でない尿道に対してあまり価値がないと述べている。

要は、排尿時における瞬時の圧と流量値とから、水力学的にも無理のない範囲で排尿障害の程度をどのように数量的に評価できるかにある。

著者は今回、電磁尿流量計 (electromagnetic uroflowmeter) を試作し、これが瞬時の尿流量値をほぼ正確に測定記録できることを確かめた。さらに恥骨上式にポリエチレンカテーテルを膀胱内に挿入して、排尿時膀胱内圧の変動

(suprapubic direct cystometry) を尿流波と同時に電磁オシログラフ上に記録した。この記録を基にして、主として男子について (女子については次の論文にゆずる) 以下の事項に注目し、排尿障害の程度について数量的な評価を試みようとした。

- ① 平均尿流量値 (average flow rate;  $AFR$ )
- ② 最高尿流量値 (peak flow rate;  $PFR$ )
- ③  $PFR$  における排尿圧 (peak flow pressure;  $PFP$ )
- ④ 最高排尿圧 (maximum pressure;  $MP$ )
- ⑤ 尿道抵抗 (urethral resistance;  $R$ )

$$R = PFP / (PFR)$$

なお、尿道抵抗  $R$  の計測において、exit pressure を大気圧とみなしたが、この場合、縮流 (Vena contracta) の効果をなくするため、電磁尿流量計のトランスジューサ部に特別な adaptor を装着した。

### 尿流の水力学的解析

Fig. 1 のように膀胱頸部にはじまり、尿道 adapter および電磁尿流量計のトランスジューサ部をも含めた一つの管腔を想定し、尿流を瞬間的には一定の管腔を流れる定常流と仮定すれば以下の式が成立するものと考えられる。

膀胱頸部と尿流量計のパイプ部の外口の二横断面間の全損失水頭 (total loss of head) を  $h_r$  とすれば Berneuille のエネルギー式より

$$\frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} = \frac{P_E}{\gamma} + Z_E + \frac{V_E^2}{2g} + h_r \quad (1)$$

この場合：

$P_B$ ：膀胱内圧 (intravesical pressure)

$P_E$ ：尿流量計パイプ部の外口 (exit) を噴出する尿流の圧 (exit pressure)

$V_B$ ：膀胱頸部における尿の流速

$V_E$ ：パイプの外口 (exit) における流速 (尿流量計トランスジューサでとらえた流速と近似)

$Z_B$ ：膀胱頸部における位置水頭 (potential head)

$Z_E$ ：尿流量計パイプの外口における位置水頭  $r = \rho g$  ( $\rho$  は比質量,  $g$  は重力の加速度)

ここで  $V_B = 0, Z_B - Z_E = 0$  とし、さらに  $P_E = 0$  (大気圧とみなす。この部では縮流は発生していない。したがって逆に atmospheric pressure の部を  $P_E$  であると想定できる) とすれば式(1)は次のように書き換えられる。

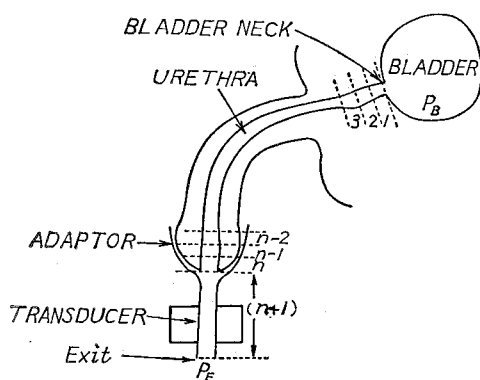


Fig. 1

$$\frac{P_B - P_E}{r} = \frac{V_E^2}{2g} + hr \quad (2)$$

膀胱頸部および尿道を含めた下部尿路を、直径および曲りかたが変化する  $N$  個の管よりなるとすれば、adapter 以下の非生体部分が第  $N+1$  segment とみなされる。それゆえ、全損失水頭  $hr$  は

$$hr = \sum_{s=1}^{n+1} \lambda_s \frac{l_s}{d_s} \frac{V_s^2}{2g} + \sum_{s=1}^{n+1} \xi_s \frac{V_E^2}{2g} \quad (3)$$

ただし

$\lambda_s$ : 第  $S$  segment における流体摩擦係数で  $Re$  (Reynold number) の関数である。

$l_s$ : 管腔第  $S$  segment の長さ

$d_s$ : 管腔第  $S$  segment の直径

$\xi_s$ : 管腔の屈曲、内径の変化 (外尿道口から adapter への移行は内径の急変部といえる) によって生ずる種々なる損失係数の和。

次に連結の式より

$$V_s d_s^2 = V_E d_E^2, \quad V_s = V_E \frac{d_E^2}{d_s^2}, \quad V_s^2 = V_E^2 \left( \frac{d_E}{d_s} \right)^4 \quad \text{で}$$

あるからエネルギー式 (2) は次のように置きかえられる。

$$\begin{aligned} \frac{P_B - P_E}{r} &= \frac{V_E^2}{2g} + \frac{V_E^2}{2g} \left\{ \sum_{s=1}^{n+1} \lambda_s \frac{l_s}{d_s} \left( \frac{d_E}{d_s} \right)^4 + \sum_{s=1}^{n+1} \xi_s \left( \frac{d_E}{d_s} \right)^4 \right\} \\ &= \frac{V_E^2}{2g} \left\{ 1 + \sum_{s=1}^{n+1} \lambda_s \frac{l_s}{d_s} \left( \frac{d_E}{d_s} \right)^4 + \sum_{s=1}^{n+1} \xi_s \left( \frac{d_E}{d_s} \right)^4 \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

また単位時間の流量値を  $F$  とすれば

$$F = V_E \pi \left( \frac{d_E}{2} \right)^2, \quad V_E = \frac{4F}{\pi d_E^2}$$

であるから、式 (4) は

$$\frac{P_B - P_E}{\rho g} = \frac{1}{2g} \frac{16F^2}{\pi^2 d_E^4} \left\{ 1 + \sum_{s=1}^{n+1} \lambda_s \frac{l_s}{d_s} \left( \frac{d_E}{d_s} \right)^4 + \sum_{s=1}^{n+1} \xi_s \left( \frac{d_E}{d_s} \right)^4 \right\} \quad (5)$$

$P_E$  を大気圧とみなして、 $F^2$  を左辺に置換すれば式 (5) は

$$\frac{P_B}{F^2} = \frac{\rho g}{\pi^2 d_E^4} \left\{ 1 + \sum_{s=1}^{n+1} \lambda_s \frac{l_s}{d_s} \left( \frac{d_E}{d_s} \right)^4 + \sum_{s=1}^{n+1} \xi_s \left( \frac{d_E}{d_s} \right)^4 \right\} \quad (6)$$

が成立するはずである。式 (6) の右辺は流体の性質と管の条件のみによって決定されるものである。それゆえ、左辺  $P_B/F^2$  を抵抗因子と名づけても無理はないと考える。ただし  $F$  と  $P_B$  とが経時的に変化すると同時に、管の条件も変動するわけである。また、計測される抵抗値は膀胱頸部から外尿道口までの抵抗  $R$  と流量計トランスジューサ部のパイプを含めた非生体部 adapter の抵抗  $R'$  との和 ( $R+R'$ ) である。しかし  $R'$  は微少ではば一定であるとみなされるから、 $R+R'$  を尿道抵抗として取扱っても問題はないと考える。

尿流を水力学的に解析している最近の論文のうち、興味のあるものは Huffman and Keitzer (1965)<sup>14</sup>, Pierce et al (1965)<sup>15</sup>, Smith (1966)<sup>16</sup>, Gleason and associates (1967)<sup>13</sup> があげられる。ここで述べたものは尿道を多くの分節よりなる管とみなした点で Pierce and associates (1965)<sup>15</sup> や Gleason and associates (1967)<sup>13</sup> と類似の立場といえる。

## 測定方法

### (1) 記録装置

流量値と圧の記録には、日本光電工業株式会社製、多用途監視記録装置 RM-150M 型 (Fig. 2) を用いた。流量計および圧力計のトランスジューサからのインパルス (impulse) は主または前置増幅器を経て、電磁オシログラフ上に直記される (Fig. 3)。

### (2) 尿流量値 (urinary flow rate)

尿流量の測定には著者が試作した電磁尿流量計 (electromagnetic uroflowmeter) を使用した。本装置は日本光電工業株式会社製の電磁血流計 MF-2-a 型を尿流量測定用に改良したものである。検出部の液体通路は内径 6 mm、長さ 10 mm で、測定流量範囲は 0.5 ml/sec ~ 50.0 ml/sec で、瞬時の尿流量を正確に測定記録できる (Fig. 4)。

なお、成人男子の場合はトランスジューサ部に男子用 adapter (Fig. 4) を連結せしめて立位で測定する。トランスジューサ部に装着している adapter は龟头部外尿道口に密着させる必要があり、これはもっぱら成人男子に使用される (女子または幼児の場合は

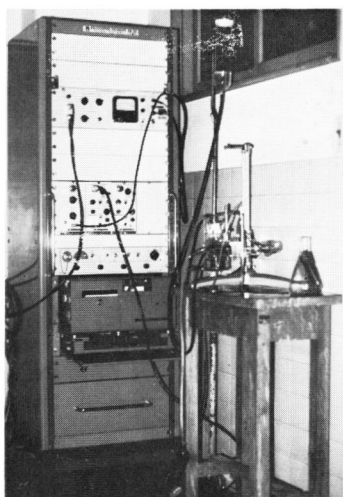


Fig. 2

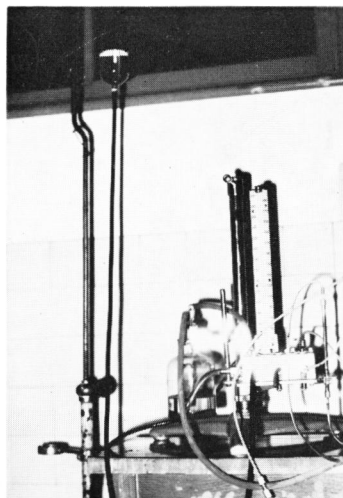


Fig. 5

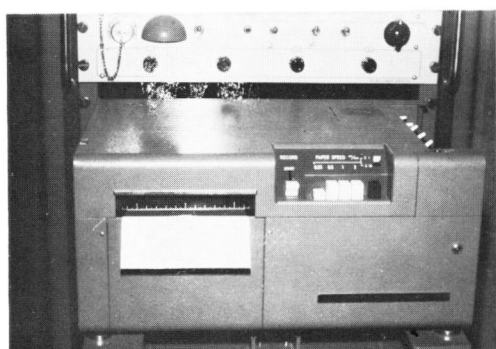


Fig. 3

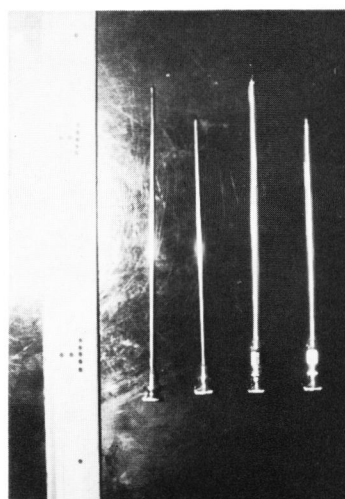


Fig. 6



Fig. 4

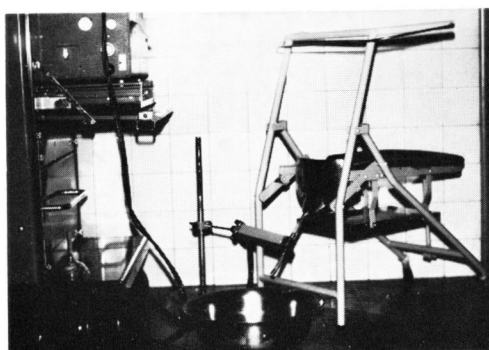


Fig. 12

後述する)。

### (3) 膀胱内圧 (intravesical pressure)

膀胱内圧は恥骨上式カニューレを膀胱内に挿入して測定する (suprapubic direct cystometry)。測定器は日本光電工業社製、電気圧力計 トランスジューサ MP-4T 型 (Fig. 6) を前記の記録装置 RM-150M 型に接続したものを用いた。MP-4T 型トランスジューサは切り換えコックを有し、そのプレッシャーヘッドは抵抗線ひずみ計方式である。

### (4) 前処置、麻酔および測定実施

被検者は測定前、排尿を禁じ多量の水分を摂取させるか、または生理的食塩水 500 ml を点滴静注し、膀胱を尿にて充満させておく。0.5%キシロカインにて恥骨上部の局麻を施し、suprapubic に著者が試作したポリエチレンカテーテル (Fig. 7) を膀胱内へ挿入して、これを膀胱内圧トランスジューサに設置する。ついで被検者を立位にし、亀頭部を尿流量トランスジューサに付属した男子用 adapter に密着させる。被検者の体位は立位である。

測定中は被検者の心理的影響を考慮し、測定者とカーテンなどにより隔離しておく。

測定値の正確を期するために1回の排尿量は200ml以上とした。

排尿液は比重 1.0055 の生理的食塩水を使用し、suprapubic にポリエチレンカテーテルを通して膀胱内へ入れることができ、何回でも測定可能である。測定は普通3回以上おこない、それらのなかで最も良い成績を採用した。なお心因性の影響が強く現われ、それが消失しない場合には中止する。

## 測 定 対 象

正常例と下部尿路通過障害例とを分けて測定した。正常者は9〜71才の下部尿路に異常を認めない男子33例で、これには泌尿器科的に正常とみられる内科的疾患および腎結石、腎腫瘍、など下部尿路に異常を認めない症例である。また下部尿路通過障害例は、いずれもレ線のまたは内視鏡的に確定診断されたもので、前立腺肥大症14例、前立腺癌5例、膀胱頸部硬化症5例、尿道狭窄5例の計29症例である (Table 1)。

神経因性膀胱と総称される機能的排尿障害患者については、今回の論文からは除外した。

## 成 績

検査されたすべての症例について Table 2 のようなカードを作成した。正常例を含む2〜3の症例を示

Table 1 測定対象

正常者	33
前立腺肥大症	14
前立腺癌	5
膀胱頸部硬化症	5
尿道狭窄	5
計	62例

せば、Table 2, 3, 4 のようになる。この表は個々の症例の排尿状態を具体的に示すものである。

これらの成績を正常例と排尿障害例について述べる。なお排尿障害例については、平均残尿量や内視鏡のおよびレ線の所見による臨床的印象との相関性の有無を検討した。

### (1) 正常男子例

正常男子33症例の測定値を示すと Table 5 のようになる。

#### ④ AFR (average flow rate) ml/sec

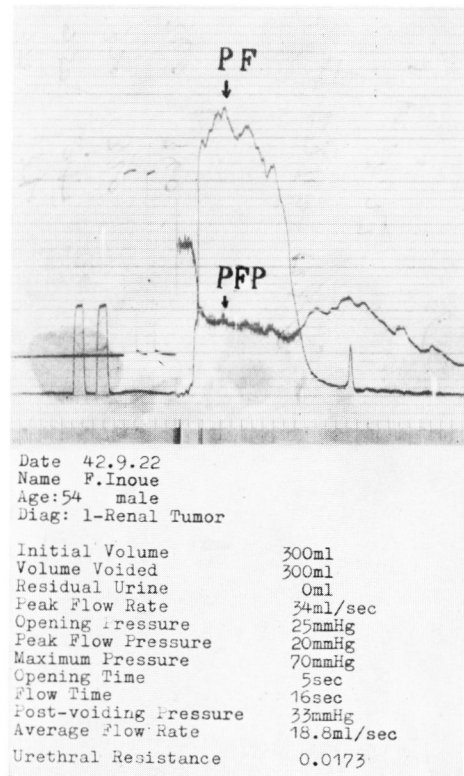


Table 2

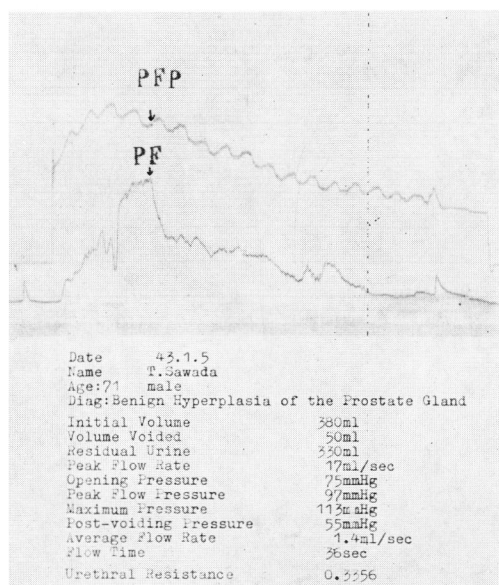


Table 3

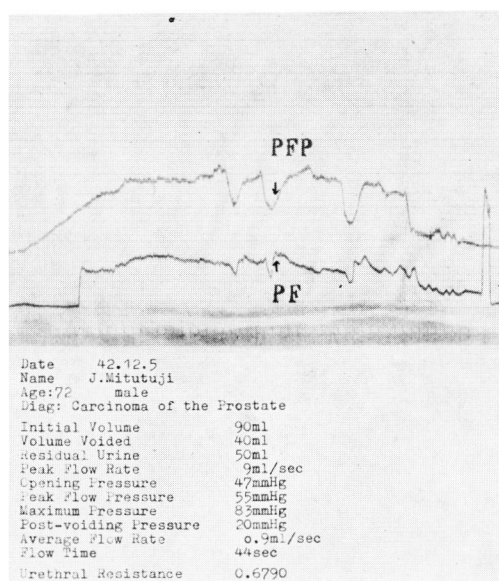


Table 4

- 6.1~20.6 で平均値は 9.4 標準偏差は 3.6  
 ⊕ PFR (peak flow rate) ml/sec  
 21~49 で平均値は 32.7 標準偏差は 5.7  
 ⊖ PFP (peak flow pressure) mmHg  
 5~62 で平均値は 30.7 標準偏差は 12.9  
 ⊕ MP (maximal pressure) mmHg  
 15~80 で平均値は 41.7 標準偏差は 17.1  
 ⊕ R (urethral resistance) mmHg/(ml/sec)<sup>2</sup>

0.0028~0.0689 で平均値は 0.0313 標準偏差は 0.0161

以上の AFR, PFR, PFP, MP, R について、年齢による変動をみると、Fig. 7, 8, 9, 10, および Fig. 11 のとおりで、AFR と PFR は年齢の増加とともにわずかな減少の傾向を示すが、PFP と MP および R は年齢による増減の傾向は認められなかった。しかし被験症例数が少なく、この点については明確な結論を出せなかった。

## (2) 排尿障害例

全症例29について排尿障害の程度を、検査前に測定した残尿の有無および量により4段階(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>)に分類した。ただし S<sub>1</sub> 期は残尿量が 20 ml 以下、S<sub>2</sub> 期は 21~50 ml, S<sub>3</sub> 期は 51~100 ml, S<sub>4</sub> 期は 101 ml 以上の群を示す。残尿量の決定はおのおのの症例について連続5日間測定しその平均値をとったもので著者はこれを平均残尿量と呼んでいる。各期の症例についての測定値は Table 6, 7, 8, 9 に示すとおりである。

### S<sub>1</sub> 期 (平均残尿量 0~20 ml)

AFR は 1.7~8.9 平均値 5.1 標準偏差 1.1  
 PFR は 19~31 平均値 24.3 標準偏差 2.9  
 PFP は 30~90 平均値 51.8 標準偏差 17.7  
 MP は 33~101 平均値 61.9 標準偏差 19.5  
 R は 0.0444~0.1405 平均値 0.0904  
 標準偏差 0.0306

### S<sub>2</sub> 期 (平均残尿量 21~50 ml)

AFR は 1.9~5.2 平均値 4.0 標準偏差 1.5  
 PFR は 17~27 平均値 22.3 標準偏差 3.0  
 PFP は 35~81 平均値 50.2 標準偏差 15.9  
 MP は 45~98 平均値 63.2 標準偏差 18.8  
 R は 0.0662~0.1531 平均値 0.1021  
 標準偏差 0.0295

### S<sub>3</sub> 期 (平均残尿量 51~100 ml)

AFR は 0.9~6.3 平均値 2.0 標準偏差 1.8  
 PFR は 9~27.8 平均値 17.1 標準偏差 5.7  
 PFP は 44~175 平均値 80.6 標準偏差 35.1  
 MP は 60~200 平均値 101 標準偏差 48.5  
 R は 0.2037~0.6790 平均値 0.3277  
 標準偏差 0.1678

### S<sub>4</sub> 期 (平均残尿量 101 ml 以上)

AFR は 0.3~1.4 平均値 2.0 標準偏差 1.5  
 PFR は 12~17 平均値 14.7 標準偏差 1.9  
 PFP は 55~145 平均値 106.3 標準偏差 34.2

Table 5

No.	Age	Volume Voided	PFR	AFR	PFP	MP	Flow Time	R
1	6	160	28	8	37	41	26	0.0472
2	9	160	27	6.7	25	45	24	0.0343
3	22	300	42	7.5	5	28	40	0.0028
4	25	350	37	12.5	26.3	31.6	28	0.0192
5	25	350	42	9.5	33	57	37	0.0187
6	26	450	42	9.4	27	40	48	0.0161
7	27	300	42	11.1	27	27	40	0.0153
8	27	300	30	6.3	30	40	48	0.0333
9	29	240	27	7.5	24	35	32	0.0329
10	31	300	30	8.3	30	35	36	0.0333
11	32	300	33	9.1	28	29	33	0.0257
12	34	300	30	6.3	60	75	48	0.0667
13	34	300	27	8.8	17	20	34	0.2330
14	35	250	33.3	6.9	39	30	36	0.0352
15	35	300	35.3	8.3	43	48	36	0.0345
16	35	300	21	15	14	15	29	0.0317
17	35	300	27	6.3	22	24	47	0.0302
18	37	400	37	10	25	30	40	0.0183
19	37	300	49	10	24	52	30	0.0100
20	38	300	26.5	7.5	30	80	40	0.0427
21	40	400	30	10	62	75	40	0.0689
22	49	250	27	6.9	22.5	27.5	36	0.0309
23	42	285	33	7.4	30	37	52	0.0275
24	42	300	29	9.4	56	57	32	0.0666
25	44	200	33	6.1	45	50	33	0.0413
26	45	300	34	7.5	20	27	40	0.0173
27	53	300	36	6.3	20	25	48	0.0154
28	53	350	36	20.6	32.5	35	17	0.0251
29	53	250	30	19.9	13	37	24	0.0144
30	54	300	34	18.8	20	70	16	0.0173
31	54	150	30	6.3	37	53	24	0.0411
32	71	220	30	11	43	47	20	0.0478
33	71	300	31	6.9	45	74	44	0.0468
平均			32.7	9.4	30.7	41.7		0.0313
標準偏差			5.7	3.6	12.9	17.1		0.0161

MP は 90~255 平均値 146.5 標準偏差 64.1

R は 0.2148~0.8889 平均値 0.5448

標準偏差 0.2778

以上各期と測定成績との相関性の有無をグラフで見ると (Fig. 13), AFR, PFR は stage とともに下降傾向を示すが、逆に PFP および MP は stage とともに著明に上昇する。なお抵抗値 R と各 stage とは AFR, PFR, PFP, MP に比して、より強い相関性を

認めた。おなこの場合、各 stage の抵抗値 R について、統計学的な有意差をみたところ、1% の危険率をもって C と S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> 間、S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> と S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> 間に有意差を認めた。

## 考 按

はじめに述べたように、尿流の水力学的解析ないしは尿道抵抗に関する研究は最近急速に注



Table 6 S<sub>1</sub> 期 (残尿 0~20ml 期)

No.	Age	Diagnosis	Volume Voided	Residual Urine	PFR	AFR	PFP	MP	Flow Time	R
1	55	前立腺肥大症	250	10	26	8.6	30	45	20	0.0444
2	60	前立腺肥大症	80	20	25	4	45	45	20	0.0720
3	63	前立腺肥大症	245	5	22	5.3	33	33	46	0.0682
4	65	前立腺肥大症	240	10	24	3.8	65	82	64	0.1128
5	53	前立腺癌	190	10	27	3.4	90	101	56	0.1235
6	74	前立腺癌	240	10	26	6.7	64	64	36	0.0947
7	58	膀胱頸部硬化症	40	10	19	2.5	42	43	16	0.1163
8	18	膀胱頸部硬化症	250	0	31	8.9	40	55	28	0.0416
9	52	膀胱頸部硬化症	190	10	21	5.8	35	78	33	0.0794
10	38	尿道狭窄	170	10	24	5.9	58	60	29	0.1006
11	60	尿道狭窄	130	20	22	1.7	68	75	76	0.1405
平均					24.3	5.1	51.8	61.9		0.0904
標準偏差					2.9	1.1	17.7	19.5		0.0306

Table 7 S<sub>2</sub> 期 (残尿 21~50ml 期)

No.	Age	Diagnosis	Volume Voided	Residual Urine	PFR	AFR	PFP	MP	Flow Time	R
1	56	前立腺肥大症	270	30	21	4.2	40	51	64	0.0907
2	62	前立腺肥大症	240	60	17	1.9	36	45	128	0.1246
3	67	前立腺肥大症	200	80	23	3.8	81	98	52	0.1531
4	67	前立腺肥大症	140	160	27	1.9	55	70	72	0.0754
5	78	前立腺肥大症	235	65	23	5.7	54	70	41	0.1021
6	58	膀胱頸部硬化症	115	85	23	5.2	35	45	22	0.0662
平均					22.3	4.0	50.2	63.2		0.1021
標準偏差					3.0	1.5	15.9	18.8		0.0295

Table 8 S<sub>3</sub> 期 (残尿 51~100ml 期)

No.	Age	Diagnosis	Volume Voided	Residual Urine	PFR	AFR	PFP	MP	Flow Time	R
1	67	前立腺肥大症	40	60	20	1.1	93	165	36	0.2325
2	72	前立腺肥大症	70	105	15	1.9	77	86	36	0.3422
3	81	前立腺肥大症	53	22	22	1.1	175	200	48	0.3616
4	89	前立腺肥大症	150	50	12	6.3	65	69	24	0.4514
5	72	前立腺癌	40	50	9	0.9	55	83	44	0.6790
6	76	前立腺癌	120	40	13	1.5	44	60	80	0.2604
7	47	尿道狭窄	95	65	18	0.9	66	75	108	0.2037
8	32	膀胱頸部硬化症	150	150	27.8	2.5	70	70	60	0.0906
平均					17.1	2.0	80.6	101		0.3277
標準偏差					5.7	1.8	35.1	48.5		0.1678

Table 9 S<sub>4</sub> 期 (残尿 101ml 以上期)

No.	Age	Diagnosis	Volume Voided	Residual Urine	PFR	AFR	PFP	MP	Flow Time	R
1	71	前立腺肥大症	50	330	17	1.4	97	113	36	0.3356
2	69	前立腺癌	100	160	16	4.5	55	90	22	0.2148
3	27	尿道狭窄	190	310	12	1.8	128	128	104	0.8889
4	28	尿道狭窄	40	260	14	0.3	145	255	82	0.7398
平均					14.7	2.0	106.3	146.5		0.5448
標準偏差					1.9	1.5	34.2	64.1		0.2778

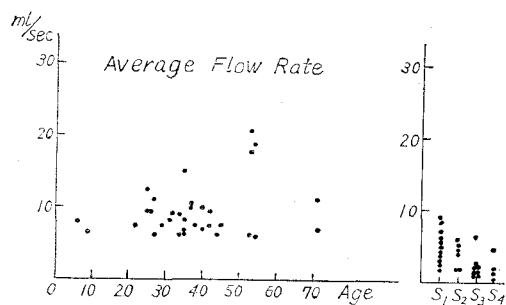


Fig. 7

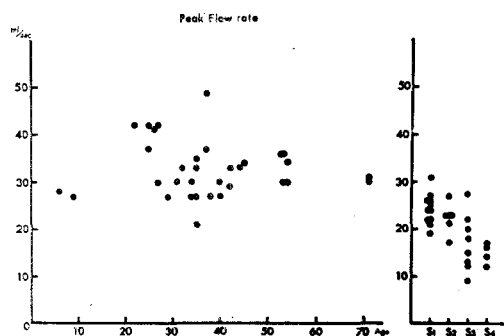


Fig. 8

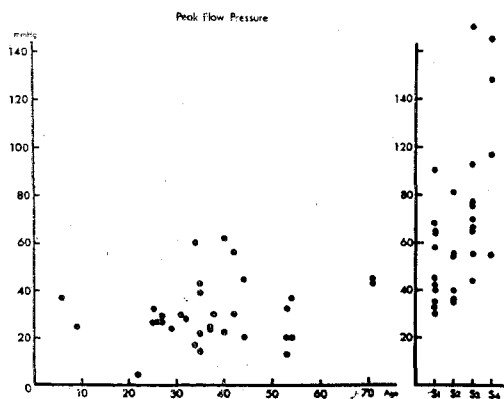


Fig. 9

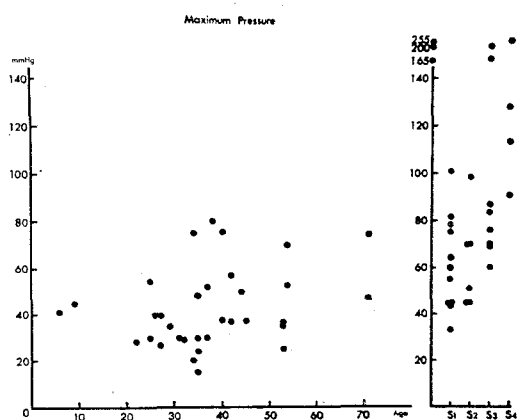


Fig. 10

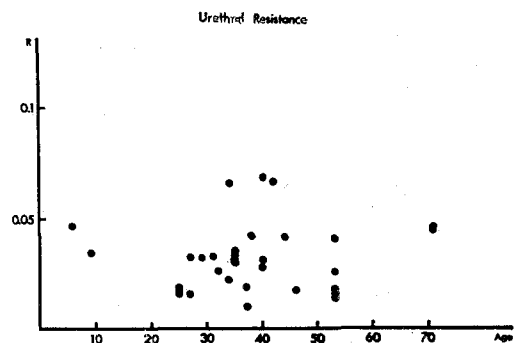


Fig. 11

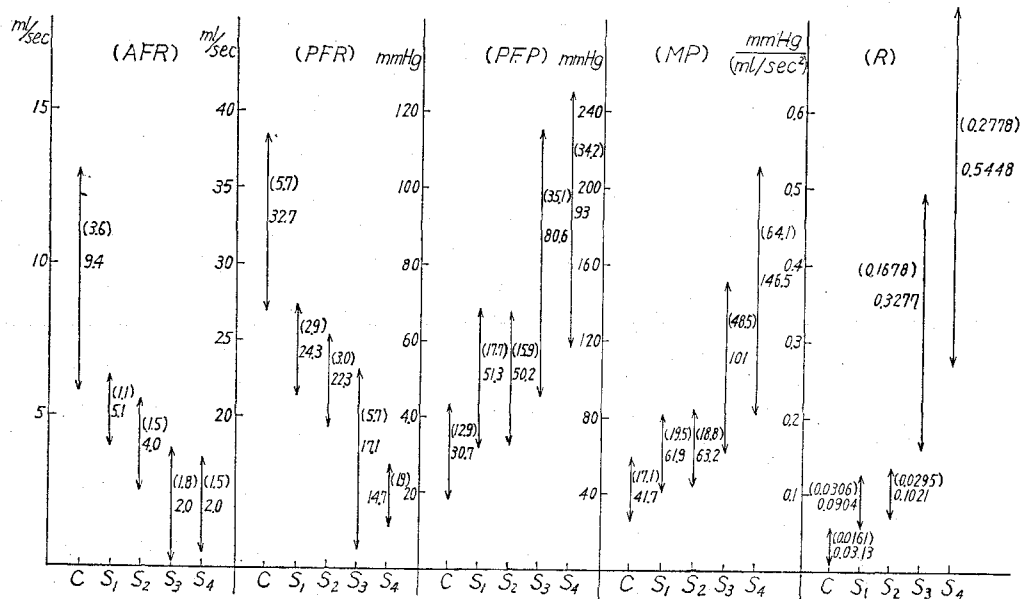


Fig. 13

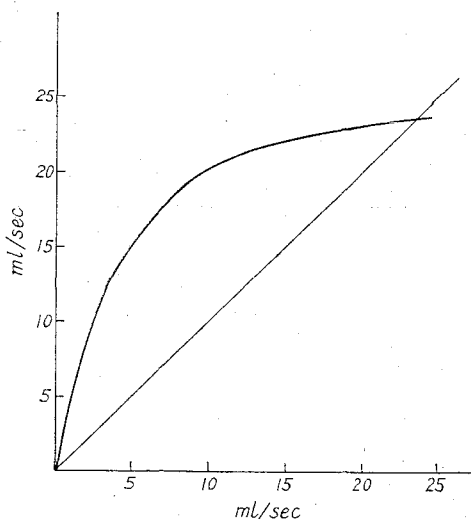


Fig. 14

目され、その報告は増えつつある。しかし下部尿路通過障害に関するこれらの検査法はまだ完成されたものでなく、その方法の一つ一つをとってみても多くの問題を残している。ここでは著者の施行した検査法を中心にして、まず測定途上に生ずる種々の問題を論じ、ついで著者のえた成績について若干の考按を行ないたい。

#### (1) 測定方法における問題

##### ① 膀胱内圧の測定

膀胱内圧は瞬時の流量と同時に尿流をはばむことなく測定記録する必要があるので、恥骨上式の測定法(suprapubic direct cystometry)が望まれる。Gleason and Lattimer (1962)<sup>6)</sup>, Pierce et al (1963)<sup>7)</sup>, Smith et al (1966)<sup>17)</sup>, Lewin et al (1966)<sup>11)</sup> らは経尿道的に細いカテーテルを挿入し、膀胱内圧を測定記録しているが、たとえ細いチューブを用いても被検者は生理的な排尿を行ないがたく、流量ないしは尿道抵抗の測定にかなり大きな誤差を生じる。これは Hopkins et al (1965)<sup>18)</sup> も指摘しているところである。なお direct cystometry は D. Cardus et al (1963)<sup>19)</sup>, F.B. Scott et al (1964)<sup>20)</sup>, Susset et al (1966)<sup>10)</sup>, Whitaker and Johnston (1966)<sup>12)</sup>, Boyarsky et al (1966)<sup>22)</sup>, Catacutan-Labay et al (1967)<sup>21)</sup> らによって行なわれている。この場合でもできるだけ刺激の少ないチューブの使用が望まれる。

##### ② urethral exit pressure ( $P_E$ )

理論的には管および流体の性質によって規定される抵抗因子は上述したように  $R = \frac{\Delta P}{F^2} = \frac{P_B - P_E}{F^2}$  で表わされる。それゆえ、より正確な値をうるためには  $P_E$  の測定が必要である。

$P_E$  の測定方法については Schwartz and Bre-

ner (1922)<sup>23)</sup>や Bryndorf et al (1960)<sup>24)</sup> は尿線の cast distance から外尿道口を噴出する尿の流速 (velocity) を求め、間接的に  $P_E$  を計算している。この場合式  $P_E = \frac{\rho V^2}{2}$  から求められる。また Smith (1966)<sup>17)</sup> は細い open ended tube を外尿道口付近の尿道に留置し、 $P_E$  を直接測定した。

Whitaker and Johnston (1966)<sup>12)</sup> は tambour により尿線の放出力を測定し、同時に記録した flow rate から間接的に  $P_E$  を計測した。かれはそれを  $P_E$  meter tambour と呼んだ。また Wise et al (1968)<sup>25)</sup> は尿道に挿入した Pitot-tube により dynamic pressure と static pressure なるものを測定している。

以上の方法はいずれも flow rate の正確な測定を犠牲にするところが最大の欠点である。他方 Pierce et al (1963)<sup>7)</sup>, Claridge and Schtettelworth (1964)<sup>9)</sup> や Susset et al (1966)<sup>10)</sup> は  $P_E$  を大気圧とみなし、これを無視している。はじめにも述べたように Gleason and associates (1967)<sup>13)</sup> によれば、exit pressure を大気圧とみなした場合、exit は外尿道口部ではなく、縮流部 (Vena contracta) に相当し、その部の直径は elastic な尿道においては流体摩擦係数や尿流量値によって左右される。それゆえ  $R = P_E / F^2$  ( $P_E$  は intravesical pressure) は rigid model 以外あまり価値がないと述べている。

著者も  $P_E$  を大気圧とみなしたが、縮流の効果をなくするため、電磁尿流量計のトランスジューサ部に特別な adapter を装置し、非生体部のパイプを含めた抵抗値を計測した。

### ③ urinary flow rate

#### i) 尿流量測定装置について

Grönwall (1925)<sup>26)</sup> がはじめて尿流量を経時的に記録する装置を考えて以来、多くの諸家によって考案されている。たとえば von Garrelts (1956, 1958)<sup>1-5)</sup>, Kaufman (1957)<sup>27)</sup>, Drake (1948)<sup>28)</sup> (1954)<sup>29)</sup>, Stewart (1960)<sup>30)</sup>, Ross and Nixon (1961)<sup>31)</sup>, Holm (1962)<sup>32)</sup> があげられる。これらはすべて尿の経時的加算量を測定記録するものである。しかし尿道抵抗を論ず

る場合は瞬時の尿流量を記録する必要がある。このためには Cardus et al (1963)<sup>33)</sup> が報告した電磁尿流量計が最も適当と考えられる。著者もその目的のため、電磁血流計 (日本光電工業社製) を改良した電磁尿流量計なるものを試作した。その特徴は上述したとおりで 0.5 ml/sec ~ 50.0 ml/sec の範囲の瞬時の尿流量を正確に記録できるものである。

本流量計を使用するにあたって生ずる諸問題について以下簡単に考按する。

#### ii) 電磁尿流量計で測定する場合に生じる問題点

##### イ) adapter 使用の意義

電磁尿流量計の操作にあたって注意すべき第一の点は流量トランスジューサ部に気泡が混入しないことである。このために adapter が必要であり、測定時 adapter は亀頭部外尿道口に密着されてなくてはならない。また adapter の使用により縮流効果の影響を受けないことは前述したとおりである。

そのさい計測される抵抗値は、前述のとおり  $R + R'$  ( $R$  が生体部の抵抗、 $R'$  が非生体パイプ部の抵抗) として表わされる。しかし  $R'$  が僅少で一定であり、また著者が規定した排尿障害 (機械的閉塞による) の程度に関する臨床的な stage とかなり強い相関性を有していたので、この点には大きな問題はないといえる。

##### ロ) 被験者が女子、幼児の場合

被験者が女子、幼児または立位不能の男子では前述の adapter が使用できない。この場合は Fig. 12 のような排尿いすを用いる。このいすは和製フクミ式排尿いすに受尿用漏斗 (funnel) をとりつけたものである。この場合排出された尿は空気とともに流量トランスジューサ部を通過するので、それにより測定値はかなりの影響をうける。Fig. 14 はその影響を示したもので、横軸は adapter 使用時の流量値、縦軸は funnel 使用時の流量値を示す。なお時間的にも adapter 使用時に比して約 0.4 秒ずれて記録される。

ハ) 流体の性質による流量トランスジューサの反応について

生理的食塩水比重 (1.0055), 10 %食塩水, 人尿 (比重 1.005 と 1.012 の 2 種類), およびブドウ糖溶液 (5 %と20%の 2 種類) のそれぞれについて, 10ml/sec で流れるようにイリガートルを設置し, 生食を基準にした流量トランスジェーサの反応を調べた。それによると流量値は測定に使用する液体の滲透圧, 粘稠度, 電解質には左右されなかった。しかし著者は検査時, 膀胱外に漏出しても人体に悪影響をおよぼさないことを考慮して生理的食塩水を使用した。

#### ④ その他検査途上に生ずる問題

##### i) 排尿姿勢

被検者にとって最も排尿しやすい姿勢がよく, 通常男子は立位, 女子およびこどもは坐位にて排尿姿勢をとり, それほど問題はないが adapter が使用できない被検者 (例えば立位または坐位不能の患者) では受尿用漏斗を使用すればよいが, その成績には排尿姿勢を付記する必要がある。F.B. Scott et al (1964)<sup>20)</sup> の正常男子についての成績では PFR や AFR は立位や臥位に比して坐位で最も高い値をえている。著者はこの問題について比較検討しなかったが, 少なくとも一般日本人では習慣上男子は立位, 女子は坐位で行なわせるのが適当と考える。

##### ii) 心理的影響

このような排尿動作を必要とする下部尿路機能検査に共通した大きな問題である。とくに被検者のそばに医師が監視するだけで心因性に排尿困難をきたす場合がある。著者は検査に当たって, 次の諸点に留意している。

イ) あらかじめ被検者に検査の内容をじゅうぶんに説明し納得させ, 患者の不必要な不安感をできるだけ除いておく。

ロ) 検査時にはなるべく被検者を隔離した状態におく。著者は患者との間をカーテンで仕切っている。

ハ) 第1回目の排尿には, とくに強い心理的抑制が現われることが多い。それゆえ検査は3回以上続けて行なう。この場合, 患者の平素からの AFR (average flow rate) を知っておれば, 検査時の AFR と比較することにより検査

が正しく行なわれたか否かがわかる。どうしても心理的な抑制が除かれない場合は検査を中止したほうがよい。

#### (2) 尿道抵抗

著者が計測した尿道抵抗の水力学的意義および計測上, 問題となる諸点については, すでに上述したとおりである。

尿道抵抗に関する研究は, すでに 1922年 Schwartz and Brenner<sup>23)</sup> によって行なわれている。かれらは尿道の friction resistance を計測したが, 尿流量は測定していない。その後 Bryndorf and Sande (1960)<sup>24)</sup> などの報告もあるが, 圧と流量との関係から尿道抵抗を計測し, その方法が臨床実用的なものとみなされるようになったのは Gleason and Lattimer (1962)<sup>6)</sup> 以後である。かれらは尿流を層流と仮定し, 単に  $P/F$  をもって抵抗値  $R$  とみなした。Pierce et al (1963)<sup>7)</sup>, Arbuckle and Paquin (1963)<sup>34)</sup> および Levers and Metcalfe (1964)<sup>35)</sup> らはいずれも同様の考え方である。また Kleeman (1966)<sup>36)</sup> の尿道抵抗の簡易測定法も同じ理論から出発したものである。

Claridge and Shuttleworth (1964)<sup>9)</sup> や Smith (1964)<sup>8)</sup> は尿流は層流ではなく乱流であり, 尿道抵抗  $R$  は流量の自乗に対する圧の比 ( $P/F^2$ ) で表わすべきことを主張した。続いて Pierce et al (1965)<sup>15)</sup> もこの説に転じたが尿流は乱流であるというこの立場はその後現在まで多くの人びとの支持を保っている。たとえば Susset et al (1966)<sup>10)</sup>, Whitaker and Johnston (1966)<sup>12)</sup>, Catacutan-Labay et al (1967)<sup>21)</sup> らの報告はいずれも同じ立場に立った論文であると考えられる。著者の施行した方法は乱流の立場をとった点で以上の諸家と一致するが exit pressure を省略した点では Claridge and Shuttleworth (1964)<sup>9)</sup> および Susset et al (1966)<sup>10)</sup> と類似している。ただし著者は Gleason and associates (1967)<sup>13)</sup> の述べる縮流の効果をなくするために adapter を用い, この基礎に立って受尿用漏斗を使用した場合の誤差を論じた。なお Susset らの計測値をみると, 正常男子の  $R$  は  $0.17 \text{ H}_2\text{O}/(\text{ml}/\text{sec})^2$  すなわち  $0.13 \text{ mmHg}/(\text{ml}/\text{sec})^2$  以下と述べている。著者のえた値は

0.05 mmHg/(ml/sec)<sup>2</sup>以下で Susset らの出した値よりは小さい。

Smith (1964)<sup>8)</sup>や Rankin (1967)<sup>37)</sup>は Morrises and Romans (1952)<sup>38)</sup>の文献を引用し、尿流の Reynold's number ( $Re$ ) は男子尿道で 2,000 以上であるという。また女子尿道でも Ritter et al (1964)<sup>39)</sup>や Smith (1964)<sup>8)</sup>らはそれぞれ  $Re$  数を計測し、その値で 3,000をはるかに越えると述べている。Holm (1964)<sup>40)</sup>は尿道抵抗を表わすに、正確には  $P^{4/7}/F$  近似的に  $\sqrt{P}/F$  とし、Zatz (1965)<sup>41)</sup>も女兒の尿道抵抗測定にそれを採用している。

その他に排尿障害の程度を数的に評価する方法として、尿道抵抗  $R$  として表わさずに、Calibrated urethral diameter (あるいは effective urethral diameter) として表わす方法がある。Ritter, Zinner and Paquin (1964)<sup>39)</sup>は12例の正常女子における圧と流量の関係から、正常女子尿道は長さ 4 cm, 径 0.7 cm の管に相当するものとし、effective urethral diameter という考えかたの基礎をきずいた。

Backman (1966)<sup>42)</sup>は“younger women”の effective urethral diameter が平均 0.4 cm, “older women”では 0.3 cm であると報告している。かれはさらに正常男子の effective urethral diameter が 0.34 cm であると述べている。Rankin (1967)<sup>37)</sup>は女子尿道の effective urethral cross-sectional area ( $A$ ) をとりあげ、 $A=1.14 F/P$  という関係式を示した。この式から求められる calibrated effective urethral diameter は正常女子尿道で 0.38~0.57 (平均 0.44 cm) であったと述べている。他方 Smith (1968)<sup>16)</sup>は成人男子尿道で、その長さが 19 cm, friction factor が 0.005 であるとの仮定のもとに effective urethral diameter および exit diameter を計測している。かれは成人男子の effective urethral diameter ( $D=0.209 [F^2/\Delta P]^{0.2}$  for urine) は正常で 0.33 cm (平均) exit diameter ( $D_E=0.169 [F^2/P_E]^{0.25}$  for urine) が 0.31 cm (平均) であると述べている。要するに、これら計測上の尿道径  $F^2/\Delta P$  に比例し、抵抗に逆比例するものである。

(3) 本邦における排尿の水力学的研究に関

する報告はいまだ少なく、尿道抵抗あるいは effective urethral diameter に関する本格的な論文は見られない。排尿流測定については重松 (1940)<sup>43)</sup>は放尿曲線について述べ、岡ら (1953)<sup>44,45)</sup>は放尿流量計なるものを試作している。後藤 (1962)<sup>46)</sup>、木村 (1968)<sup>47)</sup>は Kaufmann 型の試作排尿流計をもちいて排尿流測定を行なっている。また恥骨上式膀胱内圧の排尿時の測定は伊丹 (1944)<sup>48)</sup>が膀胱瘻より膀胱内圧を測定記録し、排尿にさいし膀胱頸部の機能に影響をおよぼさない点が利点であると述べている。木村 (1968)<sup>49)</sup>は Kaufmann 型の試作排尿流計および排尿時膀胱内圧測定を恥骨上式に行なっているが、尿道抵抗因子については述べていない。

## 結 語

1) 新しく electro-magnetic uroflowmeter を考案作成し、瞬時の尿流量を正確に測定記録した。

2) 同時に direct cystometry (suprapubic) を施行し、排尿時の intravesical pressure を記録し peak flow pressure/(peak flow rate)<sup>2</sup> を算定しこれを尿道抵抗とした。

3) 尿道抵抗  $PFP/(PFR)^2$  の水力学的意義を論じ、その測定途上に生ずる種々の問題を考案した。exit pressure を大気圧とみなして省略したが、縮流 (Vena contracta) の効果をなくするために、電磁尿流計のトランスジェンサ部に adapter を装着した。

4) 正常男子33例、機械的閉塞による排尿障害患者29例 (いずれも男子) について上記を測定記録し、以下の結果をえた。

a) 正常男子では average flow rate (AFR) は 6.1~20.6 ml/sec で平均 9.4 ml/sec, peak flow rate (PFR) は 21~49 ml/sec で平均 32.7 ml/sec, peak flow pressure (PFP) は 5~62 mmHg で平均 30.7 mmHg, urethral resistance ( $R$ ) は 0.0028~0.0689 で平均 0.0313 mmHg/(ml/sec)<sup>2</sup> であった。

b) 排尿障害患者について平均残尿量から臨床的に障害程度を4段階に分類し、average flow rate (AFR), peak flow rate (PFR),

peak flow pressure (PFP), urethral resistance ( $R$ ) の各値がいずれも、この stage に相關することを認めた。とくに抵抗値  $R$  はこれら stage とより強い相関性を示し、排尿障害の程度を数的に評価する重要な指標と考える。

稿を終るにあたり、ご指導、ご校閲を賜った恩師石神襄次教授に深謝し、尿流の水力学的解析についてご教示いただいた神戸商船大学 藤川裕臣教授に感謝し、そして本研究にご協力くださった教室員の皆さまにお礼申しあげます。

本論文の要旨は第18回中部連合地方会および第56回日本泌尿器科学会総会において発表した。

## 文 献

- 1) Garrelts, B.: Acta chir. scandinav., **112**: 326, 1956.
- 2) Garrelts, B.: Acta chir. scandinav., **114**: 49, 1957 a.
- 3) Garrelts, B.: Acta chir. scandinav., **114**: 197, 1957 b.
- 4) Garrelts, B.: Acta chir. scandinav., **114**: 466, 1957 c.
- 5) Garrelts, B.: Acta chir. scandinav., **115**: 227, 1958.
- 6) Gleason, D. M. and Lattimer, J. K.: J. Urol., **87**: 844, 1962.
- 7) Pierce, J. M., Braun, E., Sniderman, J. and Lewis, H. Y.: Surg. Gynec. Obstet., **116**: 217, 1963.
- 8) Smith, J. C.: Invest. Urol., **1**: 477, 1964.
- 9) Claridge, M. and Shuttleworth, K. E. D.: Invest. Urol., **2**: 188, 1964.
- 10) Susset, J. G., Ravinovitch, H. H., Rosario, F. and Mackinnon, K. J.: J. Urol., **96**: 746, 1966.
- 11) Lewin, M. L., Culp, D. A., Flocks, R. H. and Spicer, P. F.: J. Urol., **96**: 756, 1966.
- 12) Whitaker, J. and Johnston, G. S.: Invest. Urol., **3**: 379, 1966.
- 13) Gleason, D. M., Bottaccini, M. R., Perling, D. and Lattimer, J. K.: J. Urol., **97**: 935, 1967.
- 14) Huffman, G. C. and Keitzer, W. A.: Invest. Urol., **3**: 1, 1965.
- 15) Pierce, J. M., Martyn, G. E., Jr. and Roberts, V. L.: J. Urol., **94**: 671, 1965.
- 16) Smith, J. C.: Brit. J. Urol., **XL**: 2: 125, 1968.
- 17) Smith, J. C., Edwards, D. and Bryant, G. H.: Brit. J. Urol., **38**: 542, 1966.
- 18) Hopkins, J. F., Pierce, J. M. and Roberts, V. L.: J. Urol., **94**: 479, 1965.
- 19) Cardus, D., Quesada, E. M. and Scott, F. B.: J. Urol., **90**: 425, 1963.
- 20) Scott, F. B., Quesada, E. M. and Cardus D.: J. Urol., **92**: 455, 1964.
- 21) Catacutan-Labay, P., Boyarsky, S., Newmark, T., Krugman, A. and Glenn, J. F., Jr.: The Newrogenic Bladder edit. by Boyarsky, S., p. 90, The Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1967.
- 22) Boyarsky, S., Krugman, A., Glenn, J. F. and Newmark, T.: J. Urol., **95**: 778, 1966.
- 23) Schwartz, O. und Brenner, A.: Zschr. Urol. Chir., **32**: 32, 1922.
- 24) Bryndorf, J. and Sandoe, E.: Danish Med. Bull., **7**: 65, 1960.
- 25) Wise, H. M., Jr., Many, M., Birtwell, W. C., Eryick, T. B. and Maquire, M.: Invest. Urol., **5**: 539, 1968.
- 26) Grönwall, H.: Blastomningens mekanism. Svenska Lakartidn, p. 577, 1925.
- 27) Kaufman, J. J.: Urol., **78**: 97, 1957.
- 28) Drake, W. M., Jr.: J. Urol., **59**: 650, 1948.
- 29) Drake, W. M., Jr.: J. A. A. M., **156**: 1079, 1954.
- 30) Stewart, B. H.: J. Urol., **84**: 414, 1960.
- 31) Ross, J. C. and Nixon, A.: Brit. J. Surg., **49**: 337, 1961.
- 32) Holm, H. H.: J. Urol., **88**: 318, 1962.
- 33) Cardus, D., Quesada, E. M. and Scott, F. B.: J. Appl. Physiol., **18**: 845, 1963.
- 34) Levers, P. E. and Metcalfe, J. O.: J. Urol., **91**: 368, 1964.
- 35) Levers, P. E. and Metcalfe, J. O.: J. Urol., **91**: 368, 1964.
- 36) Kleeman, F. J.: J. Urol., **95**: 222, 1966.
- 37) Rankin, J. T.: Brit. J. Urol., **39**: 594, 1967.

- 38) Morales, O. and Romanus, R. : Acta Radiol., Suppl. 95, 1952.
- 39) Ritter, R. C., Zinner, N. R. and Paquin, A. F. : J. Urol., **91** : 161, 1964.
- 40) Holm, H. H. : Acta Radiol., Suppl. 231, 1964.
- 41) Zatz, L. M. : Invest. Urol., **3** : 278, 1965.
- 42) Backman, K. A. : Stockholm : Kungl. Boktr., 1966.
- 43) 重松 俊：皮と泌，**8** : 38, 1940.
- 44) 岡 直友・森 晟：皮膚紀要，**49** : 321, 1953.
- 45) 岡 直友・森 晟：皮膚紀要，**49** : 327, 1953.
- 46) 後藤 薫・阿部貞夫：泌尿紀要，**8** : 466, 1962.
- 47) 木村泰治郎：泌尿紀要，**14** : 239, 1968.
- 48) 伊丹 昇：日泌尿会誌，**36** : 91, 1944.
- 49) 木村泰治郎：泌尿紀要，**14** : 251, 1968.

(1969年7月28日受付)

## 本論文訂正

Fig. 1 ADAPTOR → ADAPTER

Fig. 13 (ml/sec<sup>2</sup>) → (ml/sec)<sup>2</sup>

同 4.0 → 40 (中央のタテ軸)